

修 士 論 文

TEXTILE++：抵抗皮膜方式を用いたテキスタイルインタ  
フェースの開発と応用

平成 29 年度

指導教員 馬場哲晃

( 16893505 )

小野圭介

首都大学東京大学院  
システムデザイン研究科 博士前期課程  
インダストリアルアート学域

提出日：平成 30 年 1 月 25 日



## TEXTILE++

### — 抵抗膜方式を用いたテキスタイルインタフェースの開発と評価

#### 要旨

近年、コンピュータの小型化軽量化に伴い、ウェアラブルコンピューティングが広く普及している。これらウェアラブルコンピューティングは、AppleWatch に代表される時計型をはじめ、様々な目的、用途、形状のデバイスが生まれている。ウェアラブルコンピューティングは使用箇所を制限される据え置き型のコンピューティングに比べ、場所、状況を問わず使用することが可能である。また、日々の生活のライフログデータを取得し健康や福祉に活用するといった試みや、スポーツ面への応用が期待されている。

一方で、ウェアラブルコンピューティングには既存の日用品にはない、各種センサやバッテリー等が搭載されている。ゆえにデバイスの形状の影響からファッション性や携帯性、柔軟性などが欠落してしまう問題点がある。さらに、先端技術と衣服がシームレスに融合するため、電子デバイスとしてのコストだけでなく、服飾デザインや製造におけるコストも増大し、価格が高価になりがちである。これらのファッション性や携帯性、コストといった問題を考慮した設計はウェアラブルコンピューティングに求められる最も重要な要件だと考える。

1990年代後半から繊維素材を拡張し、ウェアラブルコンピューティング等に応用する研究が数多く報告されている。例えば、導電系に静電容量センサを用い、衣服などを入力インタフェースとして活用する手法や、繊維素材の伸縮性や柔軟性をセンシングする手法、布をタッチパネルのように活用する研究など幅広い観点で研究が行われている。繊維素材自体をインタフェースとして活用することで、機械的な見た目や携帯性を考慮したデザインが可能となり、生活に溶け込んだインタフェース設計が可能となる。しかし、先行事例の多くは配線の複雑さやデバイスの形状などから、我々が重要要件に挙げたファッション性や携帯性、コストを十分に考慮されているとは言い難いといえる。

そこで我々は、様々な形状のウェアラブルコンピューティングへと応用可能な繊維素材に着目した布型タッチパネル TEXTILE++ を提案する。提案する布型タッチパネルは既存のタッチパネル原理である 4 線抵抗膜方式の技術を参考とした。導電布とメッシュ生地（非導電布）を重ね合わせることで、一般的なタッチパネル同様、指の XY 座標位置及び圧力検出を可能とした。また、従来のタッチパネルにはない柔軟性や携帯性のある繊維素材

タッチパネルのため、既存のタッチパネルでは組み込みが困難であった衣服や、身の回りの繊維製品などに見た目を損なうことなく応用することが可能である。関連研究との比較をしても、本論文の提案手法はシンプルな設計であり、デバイスへの接続も4線のみであるため、安価に製造できる。

提案する TEXTILE++ は日常生活での使用を想定した洗濯に関する実験をはじめ、構成するメッシュ生地の開口率による接触認識精度の評価を行った。一般衣類同様に家庭用洗濯機での洗濯を5回行ったが、破損や精度に大きな影響を与えることはなかった。開口率の評価では、メッシュ生地の開口率が20%から50%では、90%近い接触認識精度を確認した一方で、開口率10%では、60%程度と低い結果となった。

また、TEXTILE++ は、袖口にタッチパネルを組み込み、袖口 UI として活用するジャケットを中心に、音を奏でるカバン、文字認識を行うパジャマなど様々な日用品へ応用した。これら応用物には各種対応したソフトウェアの開発を行った。各所の展示を通して、ユーザとの議論や実際に体験していただいた。その中で重要要件であるファッション性やコストに関して、好意的な意見を多くいただき、生活に溶け込んだインタフェースとしての可能性を示した。一方で、常時曲げやシワが生じるウェアラブルコンピューティングでは、誤接触や操作性に難がある。

また、TEXTILE++ は繊維素材ゆえに非常に多方面での応用可能性を秘めている。より一層、テキスタイルインタフェースの発展を考えオープンソースとし、提案手法を解説した動画やプログラムコードをインターネット上で公開を行った。

本論文ではこれら、著者らが開発した布型タッチパネルと評価、及び未来の生活を想定したプロトタイプ作品、オープンソース化の一連の流れを通して、TEXTILE++ の利点、問題点どちらにも触れながら考察し、今後の展望について論ずる。本研究が未来の生活に溶け込んだ新たなインタフェースとして、示していくことを期待する。

# Title

## — Subtitle

### Summary

Wearable computing has become widespread through the miniaturization of computing technology. Wearable computing can be used regardless of location. On the other hand, since wearable computing is equipped with various sensors, batteries, etc., it tends to be too expensive to become a daily necessity for many people. Therefore In this paper, we propose a cloth type touch panel TEXTILE++ for application to clothing type devices for input interface. By configuring the sensing part only with fiber material, possible to overcome many problems in wearable computing. The proposed TEXTILE++ has been shown to be sufficiently usable as an input interface although it is inferior in resolution as compared with the existing touch panel as a result of evaluation experiments from various viewpoints and application to daily life including clothing. Through experiments and exhibitions, future works were found to be clear.



## 目次

要旨	i
Summary	iii
1 序論	1
1.1 研究動機	1
1.2 本論文の構成	2
2 関連研究	3
2.1 衣服型入力インタフェース	3
2.2 繊維素材の拡張 (E-Textile)	4
3 システムの設計・実装	6
3.1 システムの方針	6
3.2 布型タッチパネルの実装	7
3.2.1 抵抗膜方式	7
3.2.2 プロトタイプ	8
3.3 矩形領域の補正	11
3.4 ハードウェアの実装	13
3.4.1 プロトタイプデバイス	13
3.4.2 無線基板化	14
4 評価実験	16
4.1 開口率実験	16
4.1.1 実験参加者	16
4.1.2 実験環境	16
4.1.3 実験手順	17
4.1.4 実験結果と考察	18
4.2 洗濯実験	21
4.2.1 実験環境	21
4.2.2 実験手順	21
4.2.3 実験結果と考察	22
5 アプリケーション	24
5.1 TEXTILE++ の応用	24
5.2 ソフトウェア	26
6 展示活動を通して	27
6.1 SIGGRAPH2017 Studio	27
6.2 SD フォーラム / GUGEN2017	29



6.3	ユーザの反応 . . . . .	30
7	オープンソース化 . . . . .	31
7.1	DIY 動画 . . . . .	31
7.2	Web サイト . . . . .	32
8	まとめ . . . . .	33
9	謝辞 . . . . .	34
10	参考文献 . . . . .	35
付録 A	学外発表/受賞歴/メディア掲載 . . . . .	38
A.1	学外発表 . . . . .	38
A.2	受賞歴 . . . . .	38
A.3	メディア掲載 . . . . .	38



# 1 序論

## 1.1 研究動機

近年、コンピュータの小型化、軽量化に伴い、身に着けるコンピュータ、通称ウェアラブルコンピューティングが広く普及し始めている。これらウェアラブルコンピューティングには時計型 [1][2]、衣服型 [3]、メガネ型 [4]、リング型 [5]、靴型 [6][7] など様々な目的、用途、形状のデバイスが生まれている。ウェアラブルコンピューティングは使用場所を制限される据え置き型のコンピューティングに比べ、場所、状況を問わず使用することが可能である。

一方で、ウェアラブルコンピューティングには既存の日用品にはない、各種センサやバッテリー等が搭載されている。ゆえにデバイスの形状の影響からファッション性や携帯性、柔軟性などが欠落してしまう問題点がある。さらに、先端技術と衣服がシームレスに融合するため、電子デバイスとしてのコストだけでなく、服飾デザイン、製造におけるコストも増大し、価格が高価になりがちである。具体的に、スニーカー型ウェアラブルコンピューティング Orphe[8] はファッション性や装着性が高く、デバイスが組み込まれているようには見えないが、先端技術と衣服がシームレスに融合するための、特殊な設計などから、日用使いのスニーカーでありながら、価格が4万5千円(2017年10月現在)と非常に高価である。グンゼとNECが開発した衣服型ウェアラブルコンピューティング[9]は、着るだけで姿勢や消費カロリー、心拍などの生体情報を計測でき、肌着として日常的に着用することができる。しかし、衣服の胸部には、機械的なデバイスが搭載されている為、著しくファッション性、携帯性が損なわれている。これらのファッション性や携帯性、コストといった問題を考慮した設計はウェアラブルコンピューティングに求められる最も重要な要件だと考える。

そこで、我々は衣服、靴、帽子、鞆など様々な形状のウェアラブルコンピューティングへと応用可能な繊維素材に着目した布型タッチパネル TEXTILE++ を提案する。提案する布型タッチパネルは既存のタッチパネル原理である4線抵抗膜方式[10]の技術を繊維素材に適応することで、従来のタッチパネルにはない柔軟性のあるタッチパネルを制作可能である。トラックパッドのように布を指で撫でることで、指のXY座標位置及び圧力検出が可能である。センシング部分は繊維素材のみで構成されているため、折り曲げや縫い付けなど、従来の服飾デザインにそのまま適応可能である。4線抵抗膜方式の構造上、センシング部分は数枚の布を重ね合わせたシンプルな設計であり、デバイスへの接続も4線のみである。ゆえに容易に実装可能であり、さらに従来の繊維タッチセンシング技術と比較し、

非常に安価に製造できる。

## 1.2 本論文の構成

本論文では、まず2章関連研究にて、衣服型入力インタフェース、繊維素材自体を入力インタフェースとした先行研究を挙げる。これら先行研究と、我々が重要要件とする項目を比較し、提案するTEXTILE++の方向性について述べる。3章システムの設計・実装では、TEXTILE++の提案手法と実装手法をプロトタイプを通して得た知見を交えながら述べる。4章評価実験では、TEXTILE++を実生活での使用を想定し、認識精度や耐久性に関する実験について述べる。5章アプリケーションでは、衣服やカバンなど身の回りの繊維製品の一部をTEXTILE++を使用することで、生活に溶け込んだ入力インタフェースとして活用する応用について述べる。また、TEXTILE++の各種データを可視化する専用のソフトウェアアプリケーションの開発についても述べる。6章展示活動を通してでは、CGやインタラクティブテクニクにおける世界最大級の国際会議SIGGRAPHやハードウェア国内最大級コンペティションGUGENでの展示活動を通して、ユーザーからのフィードバックや明確となった今後の課題について述べる。7章オープンソース化ではTEXTILE++の実装工程を説明したDIY動画やプログラムの公開を通して、本研究内容をオープンソースとした意義について述べる。以後8章まとめ、9章謝辞とする。

## 2 関連研究

### 2.1 衣服型入力インタフェース

上田らは衣服のシワを入力インタフェース [11] とする衣服を提案している。必要に応じて、人工筋肉を用い衣服にシワを形成する。形成されたシワ部分には導電糸が縫いこまれており、静電容量センサにより、シワへの接触を認識し電子機器の操作を行うことができる。シワの感触が触覚フィードバックとなり、直感的な操作が可能である。また、入力インタフェースとして活用しない状態では、シワは形成されないため、既存の衣服と区別がつかず、ファッション性が十分に考慮されている。一方で、人工筋肉は動作の際に発熱するため、衣服が熱くなるといった問題が生じる。また、使用する導電糸と同数のケーブル配線を静電容量センサへ行う必要があり、装着性や携帯性が損なわれている。提案手法では形成するシワの数が5本であり、単調な操作しかできない。

GoogleATAP が提案する ProjectJacquard[12] は、独自に開発した導電糸を衣服に織り込んでタッチ認識、ジェスチャ認識可能とする。提案する導電糸は、既存の紡織機を用いて製造可能で素材、厚さ、色などに制約はない。これにより、ファッション性を損なわずに様々な繊維素材の衣服へ組み込むことができる。前述した上田らの衣服のシワを用いたインタフェース同様、導電糸の数と同数の配線が必要であるが、デバイスへの配線手法なども十分に考慮されており、デバイスは小型で携帯性や装着性が損なわれることがない。また、リーバイスと共同で開発したジャケットは 2018 年内に発売予定であり、商用レベルの完成度である。しかし、洗濯可能回数に制限がある。

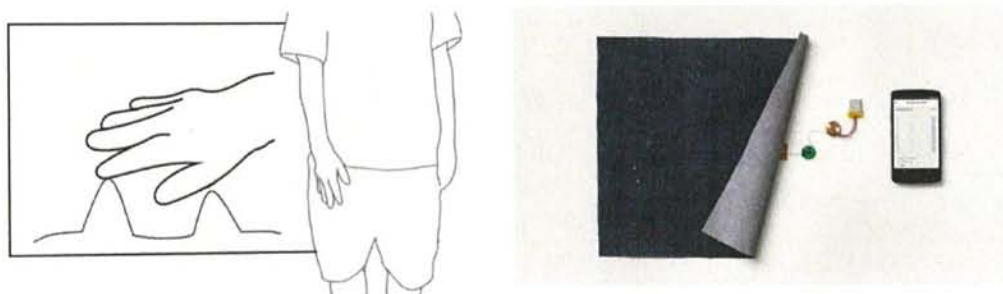


図1 左: シワインタフェース / 右: ProjectJacquard



## 2.2 繊維素材の拡張 (E-Textile)

Bieling らは繊維素材による二次元座標入力手法として Capacitive Textile Touch-pad[13] を提案している. 既存の布に導電糸を格子状に縫い付け, 導電糸の交差部分に触れることで座標位置を検出している. 座標認識精度も非常に高く, 構成も簡易的である. しかし, タッチパネルとしての解像度は格子状に縫い付ける導電糸の本数に依存するため, 解像度を高めるにつれ, 導電糸, 及びデバイスへの配線量が増加する. 一般に流通している導電糸の多くは, メッキ金属, 銅, ニッケル等を混ぜて作られた合成繊維であるため, 光沢感がある.(図2) この手法では, 人体と導電糸が直接接触する必要があるため, 導電糸は布表面に露出する必要があるため, 布のデザインに制約が生まれてしまう.

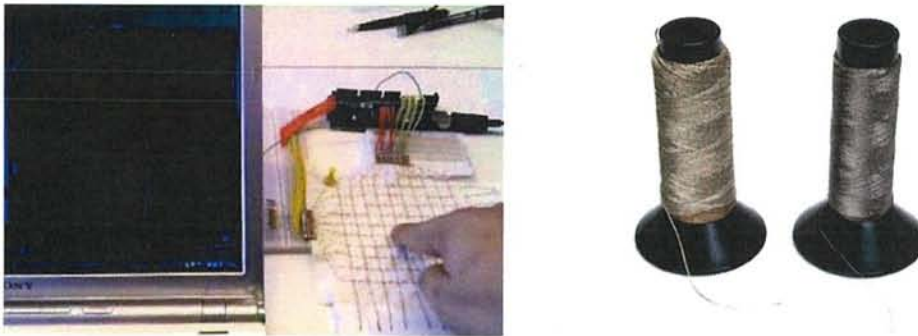


図2 左: Capacitive Textile Touch- pad / 右: 光沢のある導電糸

杉浦らは繊維素材の柔軟性に着目した研究を数多く提案している.A Thin Stretchable Interface for Tangential Force Measurement[14] では, 繊維素材の伸縮した際に繊維間で生じる透過をフォトリフレクタでセンシングし, 入力インタフェースとしている.1 枚の布に4つのフォトリフレクタを用いることで, ドラッグやスワイプ, ピンチといった指によるジェスチャ認識を実現している. しかし, 布を伸縮した際に透過性が生じる繊維素材はストッキングなどに用いられるナイロンやポリウレタンといった弾性糸に限られるため, 布自体が薄く, 用途先が限定されてしまう.

クッションやぬいぐるみといった綿を内包した柔軟物をインタフェース化する研究 [15] では, クッションやぬいぐるみの中央部に小型モジュールを組み込むことで, ユーザの「叩く」, 「潰す」, 「投げる」といったインタラクションを検出可能としている. 綿を内包した柔軟物の内部に各種センサ, モジュールを組み込むことで, 物体が持つやわらかさを保持し, 外観のデザインを損なうことがない. 仮にこの技術を衣服型のウェアラブルコンピュー

ディングに用いた場合外観の見た目には大きな影響を与えることなく、ファッション性が損なわれず、また綿内部にデバイスが組み込まれる為、装着性にも大きな影響は無いと考えられる。しかし、ダウンジャケットなど衣服内部に綿を含む衣服に限定されてしまう。



図3 左：A Thin Stretchable Interface for Tangential Force Measurement / 右：FuwaFuwa

中垣らは布に針が刺さった位置、及び方向を認識する NUI[16] を提案している。抵抗値の異なる導電布を3枚、非導電布3枚を重ね合わせた階層構造の布を用いている。針が布を貫通することで導電布同士が通電し、抵抗値が変化することで針の刺した位置の検出を行っている。電極の配線手法や導電布の抵抗値の変化による針の刺さった位置の検出手法は参考するものがある。階層する布の枚数が少なくなり、NUI の様に布を貫通することなく位置検出が行うことができれば、衣服などにも応用することができ、有用であると考ええる。

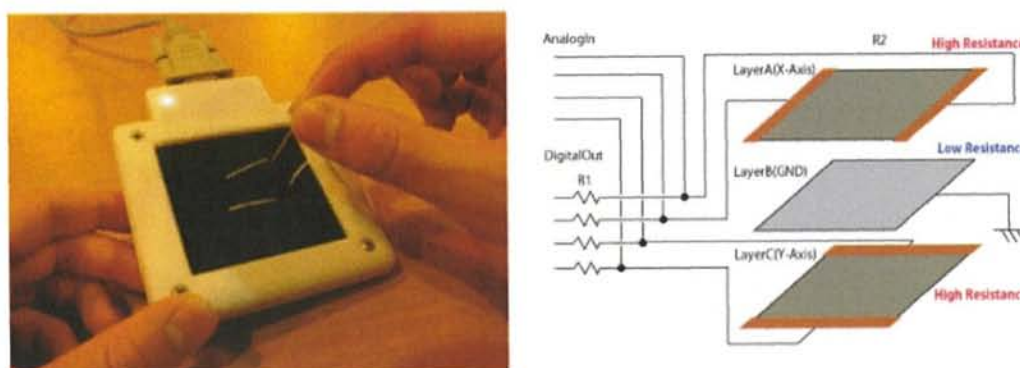


図4 NUI

### 3 システムの設計・実装

#### 3.1 システムの方針

本研究は、ウェアラブルコンピューティングを中心に、幅広く応用可能な布型タッチパネル TEXTILE++ の提案である。前述した先行研究らの問題や今後の課題から著者らはウェアラブルコンピューティングに求められる要件として特に以下の3つを考慮する必要があると考える。

1. ファッション性：特殊な入力デバイスを衣服上や身体上に装着するとユーザの見た目を損なう可能性があるため、装着した際に見た目を損なわない。既存の衣服と組み合わせても違和感がない。
2. 装着性：着用した際に、ユーザがデバイスによって不快感を感じない。
3. コスト：デバイス単体のコストはもちろん、先端技術と衣服がシームレスに融合するための製造に要するコストを考慮した設計が望ましい。

これら要件を考慮し、本研究では入力を行うセンシング部分は繊維素材のみで構成、制御するデバイスは極力小型に設計した TEXTILE++ 布型タッチパネルを提案する。センシング部分が繊維素材のみで構成することで衣服、靴、帽子、鞆など様々な形状のウェアラブルコンピューティングに応用することができる。また、繊維素材は柔軟な素材であり、我々は生活の大半において繊維を身にまとっている。ゆえにファッション性や装着性を損なうことなく、汎用性が高い。提案する布型タッチパネルの構造は、シンプルな設計であり、デバイスへの接続も4線のみである。ゆえに容易に実装可能である。コストについては、金銭コストは導電布の価格に依存する。例えば、Alibaba.com では導電布、1平方メートルあたり\$10となっている。100×100[mm]の感圧タッチパネルの場合、製造コストはおおよそ一枚あたり約200円-300円となるが、それに対して、布型タッチパネルでは1枚あたり40円程度となる。また、繊維素材と導電繊維素材で構成されているため、既存の製造ラインにそのまま応用可能と考えられる。関連研究のGoogleのProject Jacquardなどと比較しても、製造プロセスにおいても安価で扱いやすく、生産ロット数にも依存するが、約5分の1程度の価格帯で非常に安価に製造できる。

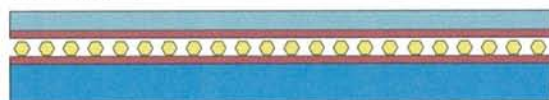


## 3.2 布型タッチパネルの実装

### 3.2.1 抵抗膜方式

提案する布型タッチパネルの基本構造は既存のタッチパネル原理である4線抵抗膜方式を応用した.[10] 先行研究に挙げた NUI に関しても, 抵抗膜方式について論述されていなかったものの, 抵抗膜方式を参考としていると考えられる. 図5は従来の4線抵抗膜方式を用いたタッチパネルの基本構造と検出原理を示した図である. このように, 4線抵抗膜方式は透明抵抗膜 (Indium Tin Oxide 以後 ITO) が設けられたフィルムやガラス素材が透明導電膜間が向かい合う方向に貼り合わせている. 指あるいは, ペンで押される時, 透明導電膜同士が接触することによってタッチパネル入力が行われる. 上下に向かい合った素材は, 一方はX座標回路を構成し, もう一方でY座標回路を構成する. 上下導電膜間には, ドットスペーサーと呼ばれる絶縁体があり, 未入力時の上下導電膜を分離している. X(+), Y(+) を Vcc(5V), X(-), Y(-) をグラウンド (0V) とし, 4 極に順番に高速でスイッチングしながら電流を流すことで, 指を押下した際の電圧が検出される. 検出された電圧を A/D 変換して, XY 方向の座標値を求めている.

#### 基本構造



指で押下すると, 上部基盤がたわみ, 上下 ITO 膜が接触し, 入力が行われる。

■ フィルム    ■ ドットスペーサー  
■ 透明導電膜 (ITO)   ■ ガラス

#### 検出原理

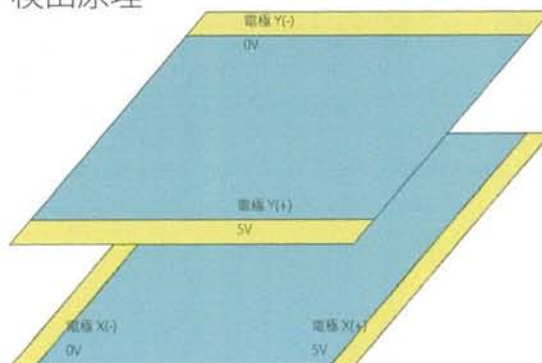


図5 抵抗膜方式の基本構造と検出原理



### 3.2.2 プロトタイプ

これらを参考に布型タッチパネルのプロトタイプを実装する。布型タッチパネルでは、ITO が設けられたフィルムを導電布に置き換え、ドットスペーサはメッシュ生地 (非導電布) に置き換えた 3 枚の布による階層構造をとっている。メッシュ生地を上下導電布の間にかませることで、押下していない時上下導電布を分離し、押下した際は、導電布がメッシュ生地の開口部を通過し、入力を行うことが可能となる。また、導電布とデバイスの配線を行うため、導電布の淵には導電性のあるテープを貼り付け、テープ部にケーブルの半田付けを行う手法をとる。

導電布にも様々な織り方をした種類が存在するため、まずはじめに一般的な電子部品屋で入手しやすい特徴の異なる導電布三種類 (リップストップナイロン、平織、綾織) を用い、本研究で用いる導電布の選定を行う。[17][18][19](図 6) 図 6 左のリップストップ型の導電布は裂け止め加工のなされたナイロン生地で、他に比べ固めの質感となっている。平織の導電布は、一方にのみ伸縮性がある導電布である。綾織の導電布は多方向に伸縮可能であり、三種類の中でも、もっとも伸縮性に富んでいる。価格はリップストップナイロンが最も安く、綾織がもっとも高い。また、メッシュ生地に関しては一般的な手芸屋で入手可能なものを使用することとする。なお、選定に用いた導電布の大きさは、 $10 \times 10$ [cm] とした。



図 6 左：リップストップナイロン / 中：平織 / 右：綾織

各導電布を用いた結果得られた反応を以下に示す。

**リップストップナイロン** 導電布が固いためメッシュ生地を通過せず、座標データを検出することが不可能。

**平織** 十分な伸縮性があり、メッシュ生地を通過した。Y 座標データに関しては、こちらが意図したような挙動の数値を示したが、X 座標に関しては意図した結果が得られなかった。原因は不明であるが、一方にのみ伸縮するという平織の特性が影響しているものと考えられる。

**綾織** 十分な伸縮性があり、メッシュ生地を通過した。また、X 座標 Y 座標データに関して、どちらも意図した挙動の数値を示すことができた。

上記の結果から、本研究では綾織の導電布を用いることとした。また、導電布の選定においては、図7のように導電布同士の間メッシュ生地を挟みこんだだけで、上下導電布とメッシュ生地を縫い付けて一枚の布とすることは行わなかった。しかし、今後縫いつけていく段階で、このままの仕様では縫い付け部の上下導電布が接触してしまう。ゆえに座標・圧力データが正しく検出することができないと予想される。そこでメッシュ生地の縁に、厚さ約 1mm のふちどり広巾を縫い付けることによって、押下していない時の上下導電布の分離を行うこととした。



図7 左：導電布の選定 / 右：ふちどり広巾

これらを踏まえた上で制作した布型タッチパネルのプロトタイプ仕様を図8に示す。縦120mm×横120mmの導電布(綾織)にSparkFun DEV-10070, 導電性テープにTAKACHI CUS-8T, メッシュ生地, ふちどり広巾は一般的な手芸屋で入手可能なものを採用した。基本的には図2に示す3枚の階層構造で構成されるが, 人の指と導電布が直接接触する必要性がないため, 図9に示すように, 布型タッチパネルの表面に任意の布(非導電布)を縫い付けることで, 好みのデザインの布をタッチパネルとすることができる。

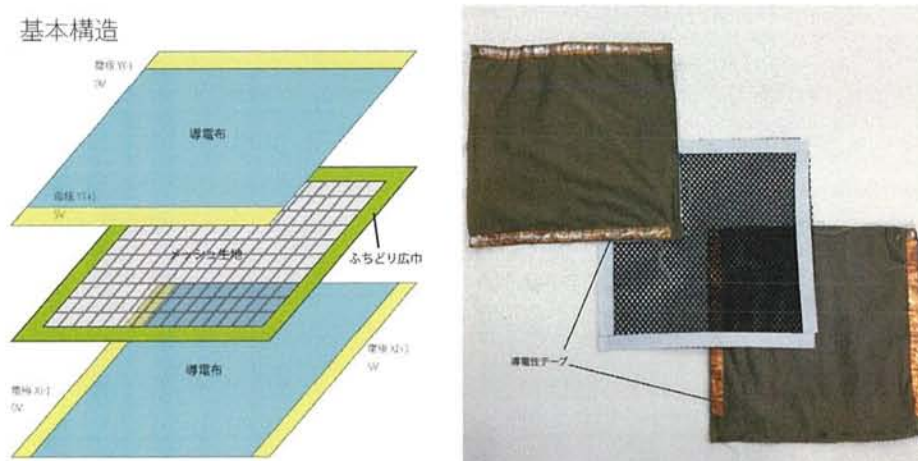


図8 TEXTILE++ 基本構造

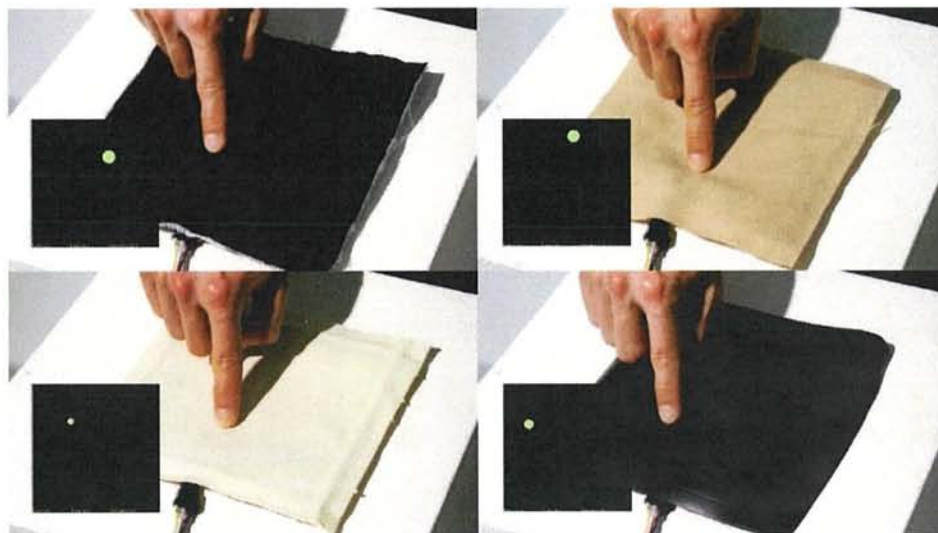


図9 ユーザ入力面に様々な入力素材を利用している様子。(左上:キルティング, 右上:タオル地, 左下:キャンパス地, 右下:合皮)



### 3.3 矩形領域の補正

プロトタイプとして制作した布型タッチパネルは、指先が触れた位置が、以下の値を示した。

1. パネル左端：約 450(動作環境により $\pm 5$ )
2. パネル右端：約 470(動作環境により $\pm 5$ )
3. パネル上端：約 420(動作環境により $\pm 5$ )
4. パネル下端：約 450(動作環境により $\pm 5$ )

布型タッチパネルに触れていない時には、プルダウン抵抗により 0 が出力される。本研究ではこれら検出された座標データにマッピング補正をかけ、0-20 程度の値として扱う。これは XY 座標の解像度が  $20 \times 20$  であることを示す。一般的なタッチパネルと比較すると低解像度であるが、入力インタフェースとして十分に活用可能であると考ええる。しかし、布型タッチパネルは現状の階層構造では使用状況や使用頻度により上下の導電布の接触部にずれが生じ、使用するたびに XY 座標の A/D 変換値に若干の誤差が生まれてしまう。また、XY 座標の A/D 変換値の変化の具合は図 10 に示すように、XY 値共に B カーブのような直線変化をしていない。図 11 は縦 100mm × 横 100mm の布型タッチパネルに直径 20mm のマスを 25 個配置した時の頂点 36 ポイント (赤い丸) をタッチして得られた各頂点の XY 座標の A/D 変換値を青線で描画したものである。このままでは、歪みが酷く、タッチパネルとしての使用は難しいため、矩形領域の補正を行う必要がある。

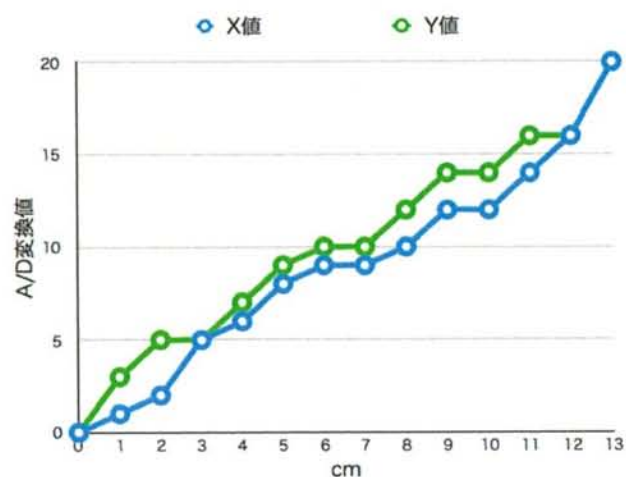


図 10 A/D 変換値変化の特徴

図 11 に示したように, 補正を行う布型タッチパネルに 25 個のマスの区切り, 頂点 36 ポイントをタッチし, 各頂点の XY 座標の A/D 変換値を元に 25 個の矩形領域を形成し, 補正を行う. はじめに, 押下した座標位置が 25 個のどの矩形領域に含まれているかの判定をする. 包含判定方法は, 「多角形は, 三角形の集まりである」「3 点の平均値である中心は必ず三角形の内部にある」[20] この 2 つの定義を当てはめ, 各領域を 2 分割 (3 角形化) し, 外積の性質を応用し, 3 角形に含まれているかを判定した. 次に, 矩形領域の横幅を LW, 縦幅を LH, 補正前の XY 座標の A/D 変換値を TX, TY, 補正後の XY 座標位置を SX, SY と定義する. また, 対象となる矩形領域の四隅を P1( $x_1, y_1$ )-P4( $x_4, y_4$ ) と定義する (P1=左上 / P2=右上 / P3=左下 / P4=右下). P1-P3 の直線方程式 (1) より求められる X 座標を  $X_1$ , P2-P4 の直線方程式 (2) より求められる X 座標を  $X_2$  とし,  $X_1$  と  $X_2$  の絶対値の差分を ZX として求める. (3) 次に比率計算から  $SX:LW = TX-X_1:ZX$  を展開し, 補正後の座標位置 SX を求める. (4) 同様の計算を Y 座標においても行い, 矩形領域の補正とする.

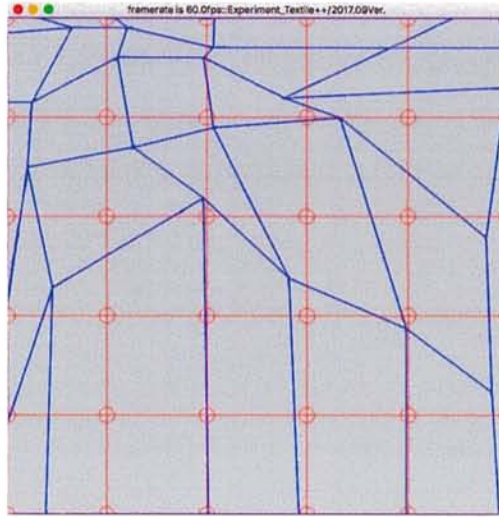


図 11 歪んだ矩形領域 (赤いマスが正しい領域, 青いマスが矩形領域)

$$X_1 = \frac{(x_3 - x_1)(TY - y_1)}{(y_3 - y_1)} + x_1 \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{(x_4 - x_2)(TY - y_2)}{(y_4 - y_2)} + x_2 \quad (2)$$

$$|ZX| = X_1 - X_2 \quad (3)$$

$$SX = \frac{(LW * TX - X_1)}{ZX} \quad (4)$$

### 3.4 ハードウェアの実装

#### 3.4.1 プロトタイプデバイス

布型タッチパネルの制御を行うプロトタイプデバイスには,Arduino Nano[21]を用いた,座標データ,圧力データはUSB接続されたPC上に送信される.回路構成は,従来の抵抗膜方式のタッチパネルと同様とした.(図12)

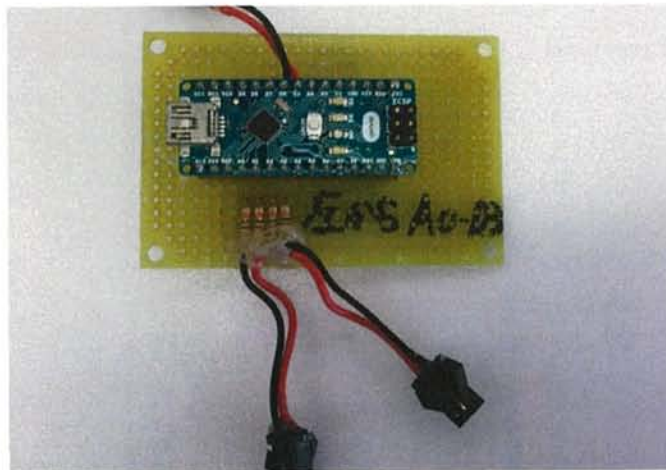


図12 プロトタイプデバイス

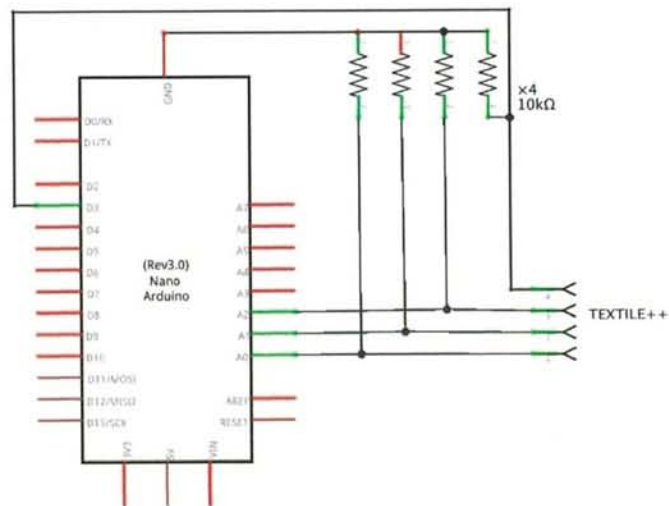


図13 回路構成

### 3.4.2 無線基板化

プロトタイプデバイスは、有線によるデータの通信、デバイスの大きさからウェアラブルコンピューティングとして活用することができない。これらから、無線通信対応の小型基板を開発した。制作した小型基板を図 13 に示す。小型基板のサイズは縦 30mm × 横 30mm とし、マイコンに ATmega328、無線通信のための BLE モジュールに BLEserial3 を用い、実装した。無線通信に BLE を用いることで消費電力を抑えることができる。電力はリチウムポリマ電池または microUSB 経由で給電が可能である。図 14 に回路図を示す。

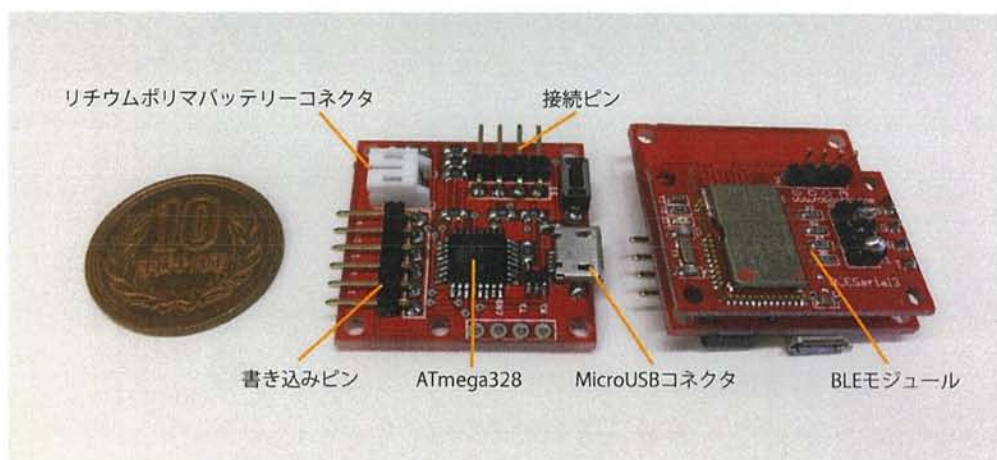


図 14 小型制御基板



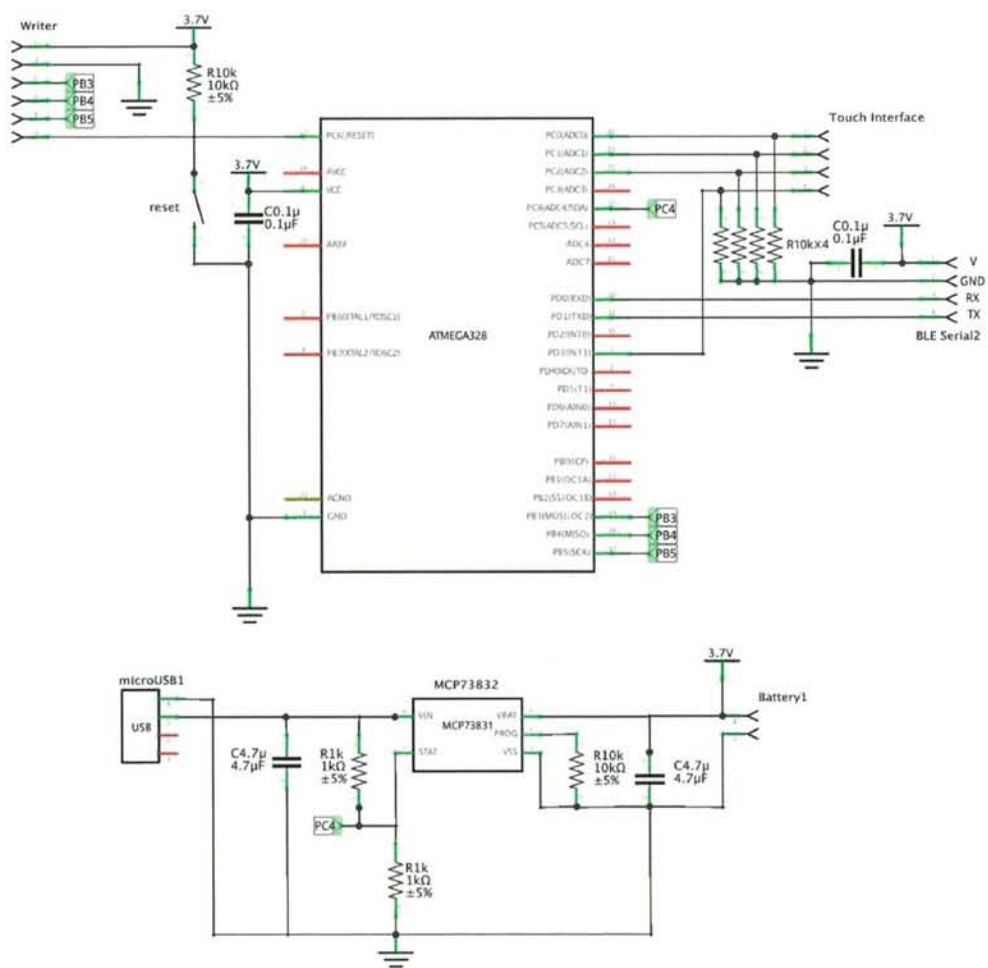


图 15 回路構成

## 4 評価実験

提案する布型タッチパネルはウェアラブルコンピューティングへの応用を目的としている。日用品として用いるため様々な観点からの実験が不可欠である。本稿では、布型タッチパネルメッシュ生地の開口率による接触認識精度の評価実験、洗濯による布型タッチパネルへの影響があるのか調査を行った。

### 4.1 開口率実験

上下の導電布を分離するメッシュ生地の開口率の違いによる上下導電布の接触認識精度の評価実験を行った。実験で用いる布型タッチパネルには直径 20mm のマス目を 1-25 までの数字を印字している。(図 15) 評価実験では、実験者が指示する数字が印字されている箇所を実験参加者は指で押下する。この時、上下の導電布がしっかりと接触し、XY 座標の A/D 変換値が意図した領域内に正しく含まれているかを記録し、接触認識精度について調べた。本実験では開口率 10%-50% まで 10% 刻みのメッシュ生地を 5 枚を用意し実験参加者には 5 条件全てで評価実験を行なった。

#### 4.1.1 実験参加者

大学生・大学院生・研究生・留学生 A-H, 合計 8 名 (男性 7 名, 女性 1 名, 年齢 21-27 歳) を実験参加者とした。また、全ての実験参加者が右利きであり、布型タッチパネルに触れるのは初めてであった。

#### 4.1.2 実験環境

評価実験に用いる布型タッチパネルは縦 110mm × 横 110mm を用いた。メッシュ生地の上左右の淵 5mm は上下導電布をより安定して分離するため、1mm の厚みのふちどり広巾をつけている。そのため、指を押下した際の X 座標 Y 座標の A/D 変換値を取得できる範囲は上下の淵合計 10mm, 左右の淵合計 10mm を除いた内側、縦 100mm × 横 100mm となっている。

本実験で用いる各開口率のメッシュ生地は高精細 3D プリンタ (AGILISTA) により、造形された樹脂素材のものメッシュ生地と扱い実験を行った。通常の繊維素材のメッシュ生地同様、厚さは 0.2mm とした。樹脂性の為、柔軟性があり、繊維素材のメッシュ生地と比べて遜色がなく、実験結果には大きな影響はないと考えられる。(図 15) 布型タッチパネル

の表面には直径 20mm で囲まれたマス目が 25 マス印字されており,1-25 までの数値が左上から順に印字されている.(図 15)

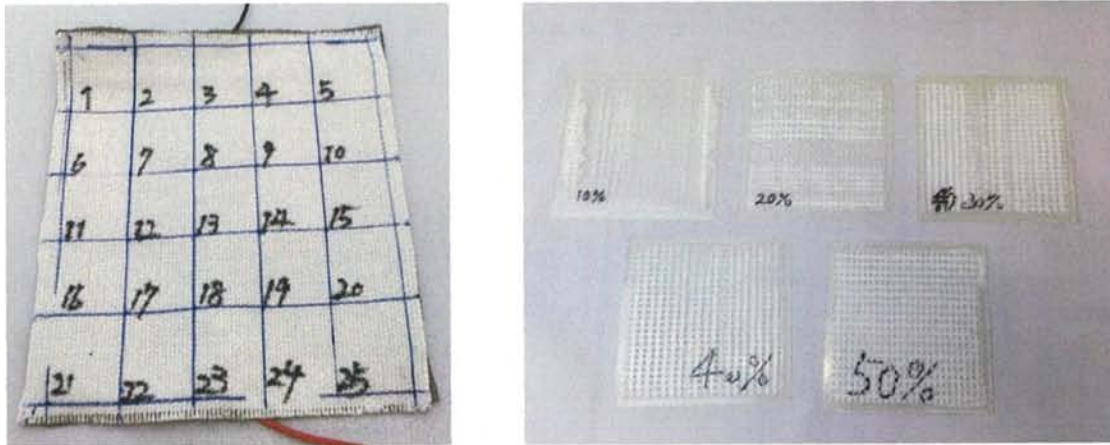


図 16 左: 実験用布型タッチパネル / 右: 各開口率メッシュ生地

#### 4.1.3 実験手順

実験手順は以下の (1) から (4) の通りに行った. また, 実験時, 布型タッチパネルは机に寝かせた状態で, 実験参加者は椅子に座り評価実験を行なった.

1. 布型タッチパネルの質感や感触の慣れや布型タッチパネルが正しく動作するかの確認のため, 数分間, 布型タッチパネルに指で触れてもらう.
2. 実験者が実験参加者に押下してもらう数字 (1-25) をランダムに指示する.
3. 実験参加者は指示された数字が印字されたマス目に指を押下する.
4. 指を押下後, 500ms 待機し, 実験者の合図と共に指を離す.

500ms 待機する理由として, 布型タッチパネルの性質上, タッチした直後の XY 座標の A/D 変換値は意図した値と異なる飛び値が出てしまうことがある. そのため, 指を押下してから 500ms 後の値を正しいものとした.

上記の工程を全数字 (1-25) 行い, これを 25 試行 1 セッションとした. 実験参加者は各開口率につき 3 セッション行い, 合計 375 試行 (25 試行  $\times$  3 セッション  $\times$  5 条件) を行なった. 実験の所要時間は 1 人当たり 30 分前後であった. 図 16 は実験の様子である.



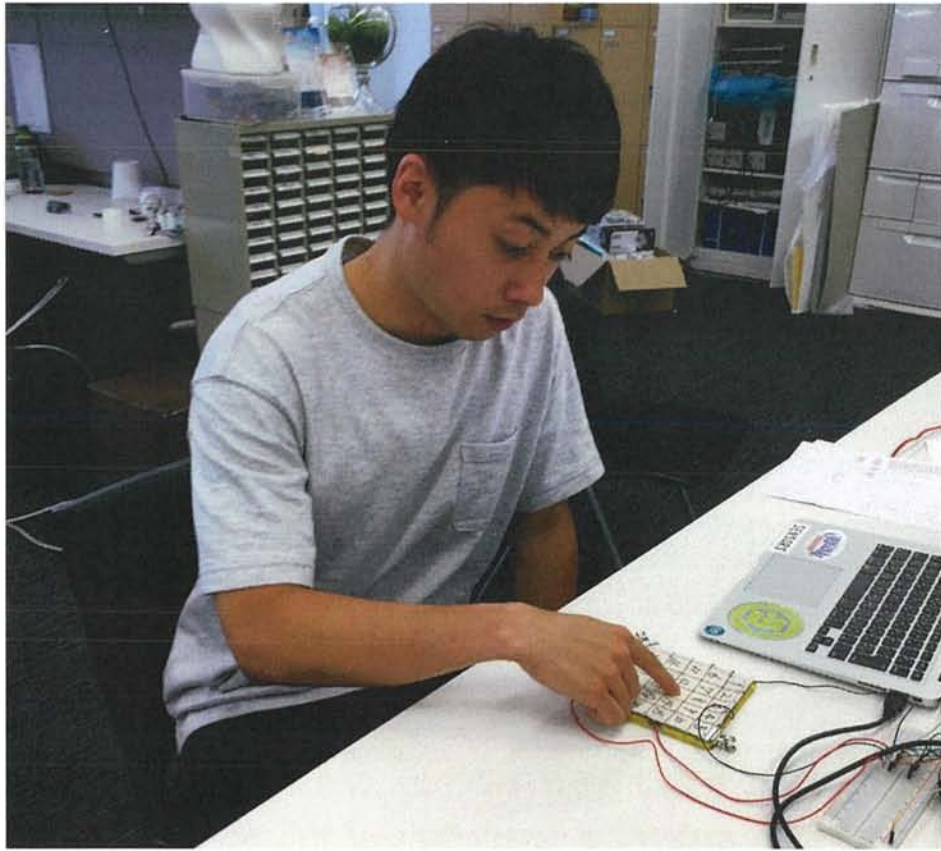


図 17 実験の様子

#### 4.1.4 実験結果と考察

実験参加者ごとの各開口率の接触認識精度の平均値を以下に示す。(図 17) 各開口率の平均値では開口率 10% が 58.2% と最も低く, 開口率 20%-50% は 90% 前後とほぼ同等の結果であった. 開口率 10% では実験参加者によって接触認識精度に大きなバラつきがある. 実験参加者 B は 78.7% と平均値を大きく超える値を示している一方で, 実験参加者 C は 26.7% と実験参加者 B と 50% 近く値の低い結果となった.(表 1) このような結果となった原因として, 各実験参加者の指を押下する圧力の強弱, 角度が大きく影響すると考えられる. 実験参加者 B は指を押下する際, 他の実験参加者より圧力をかけ, 爪を立てるように押下する特徴がみられた. 実験参加者 C は他の実験参加者に比べて, 指を押下する圧力が弱かった為, 極端に低い接触認識精度となったと考えられる. しかしながら, 実験参加者 C のデータをみても, 開口率 10% 以外では押下する圧力, 角度の違いはあまり影響しないと言える.

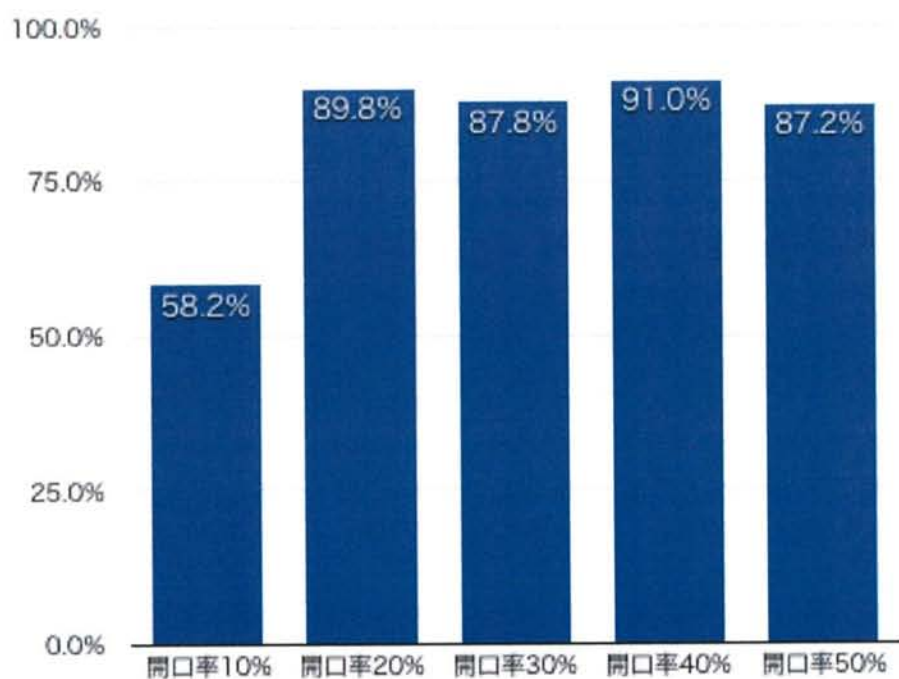


図 18 実験の様子

表 1 実験参加者ごとの開口率接触認識精度

実験参加者 / 開口率	10%	20%	30%	40%	50%
A	48.0%	90.7%	98.7%	93.3%	96.0%
B	78.7%	90.7%	78.7%	85.3%	81.3%
C	26.7%	92.0%	90.7%	90.7%	92.0%
D	65.3%	92.0%	94.7%	96.0%	92.0%
E	52.0%	77.3%	80.0%	93.3%	81.3%
F	61.3%	90.7%	82.7%	89.3%	81.3%
G	72.0%	90.7%	82.7%	85.3%	89.3%
H	58.2%	94.7%	94.7%	94.7%	84.0%

次に、布型タッチパネルに印字された数字別の接触認識精度の平均値を以下に示す。(図18) 結果、布型タッチパネル内部の数字に比べて、布型タッチパネル外辺部の数字の接触認識率が低い結果となった。特に布型タッチパネル上部の数字1-5は接触認識率は50%前後であり、他に比べても、低い結果となった。これらは各開口率10%-50%に関わらず、接触認識率が低かったため、開口率による影響ではないと考えられる。今回、上下の導電布をより安定して分離するため、メッシュ生地 of 淵に1mmの厚みをつけて実験を行ったことが少なからず、布型タッチパネルの外辺部に近い領域の接触認識率の低下に関係があるのではないかと考えられる。

1 (54.2%)	2 (44.2%)	3 (42.5%)	4 (50.0%)	5 (64.2%)
6 (90.0%)	7 (93.3%)	8 (90.0%)	9 (95.8%)	10 (94.2%)
11 (77.5%)	12 (92.5%)	13 (95.8%)	14 (91.7%)	15 (92.5%)
16 (86.7%)	17 (91.7%)	18 (93.3%)	19 (99.2%)	20 (80.8%)
21 (69.2%)	22 (93.3%)	23 (99.2%)	24 (97.5%)	25 (90.8%)

図19 数字別による接触認識精度（カッコ内は認識精度を指す）

本実験では、上下を分離するメッシュ生地 of 開口率の違いによる、指を押下した際の接触認識精度の評価実験を行った。結果として、開口率20%-50%のメッシュ生地では90%近くの接触認識率を確認することが出来た。一方で、開口率10%では実験参加者により、接触認識率に大きなバラツキがあり、平均値も60%前後と低い結果となった。よって、布型タッチパネルにおいては開口率10%のメッシュ生地を除くものを適していると言える。

また、開口率に関係なく、布型タッチパネルの外辺部の領域の接触認識率が低い原因として、上下の導電布をより安定して分離するためのメッシュ生地 of 淵1mmの厚みが影響を与えていると考えられる。今後はメッシュ生地 of 淵の厚みの違いによる評価実験を別途行う必要があると考えられる。



## 4.2 洗濯実験

洗濯による布型タッチパネルへの影響を調べるため、評価実験を行った。洗濯前と洗濯後で布型タッチパネルの任意の箇所における XY 座標の A/D 変換値の変化に大きな差異がなく、同じような値を示すことができれば、十分に有用性があると考えられる。実験では布型タッチパネル上に等間隔に印字された赤い点の上に順々に棒を置き、タッチパネルを動作させる。棒により押下された赤い点上の XY 座標の A/D 変換値を記録する。この工程をタッチパネル上合計 25 点で実施し 1 セッションとする。合計 3 セッション行い、平均値を割り出したのち、家庭用洗濯機で、他の衣服やタオルなど一緒に布型タッチパネルを洗濯をし、干す。ここまでする 1 ターンとし、その後ふたたび、同様の実験を行い、洗濯前と洗濯後で各点上で記録される XY 座標の A/D 変換値に変化があるか評価する。本稿では、5 回の洗濯を行うこととする。なお、3 節で述べたように布型タッチパネルは現状の階層構造では使用するたびに上下の導電布の接触部にずれが生じ、XY 座標の値に若干の差異が生まれてしまう。これは洗濯の有無に関わらず、起こる問題である。そのため、実験を通して得られる各点の XY 座標の抵抗値の誤差  $\pm 0.7$  程度は洗濯による影響ではなく、導電布のズレによる影響とし、 $\pm 0.7$  以上の差異が起こる点を中心に、議論を進めることとする。

### 4.2.1 実験環境

評価実験に用いる布型タッチパネルは縦 300mm × 横 350mm を用いた。印字される点 (a-y) は縦 65mm × 横 80mm 間隔に配置し、合計 25 点とした。点の大きさは直径 10mm とした。検出される XY 座標の A/D 変換値の変化量は共に 10 前後とする。実験では布型タッチパネルは安定した平たい机に寝かせた状態で行う。押下する際に用いる棒は直径 13mm、重さ 100g とした。押下する際、棒先は指で支え、安定させるが、押さえつけによる実験への影響を避けるため、指による圧力は一切入れないものとする。(図 19)

### 4.2.2 実験手順

実験手順は以下の (1) から (2) の通りに行った。

1. 等間隔に印字された点上に棒を乗せ、押下する。
2. 押下後、500ms 待機したのち、棒をあげ、次の点上に棒を乗せる。



上記の工程を全点合計 25 点, 合計 3 セッション行い, 平均値を割り出したのち, 布型タッチパネルを洗濯する. 上記の実験手順を 5 ターン行った.

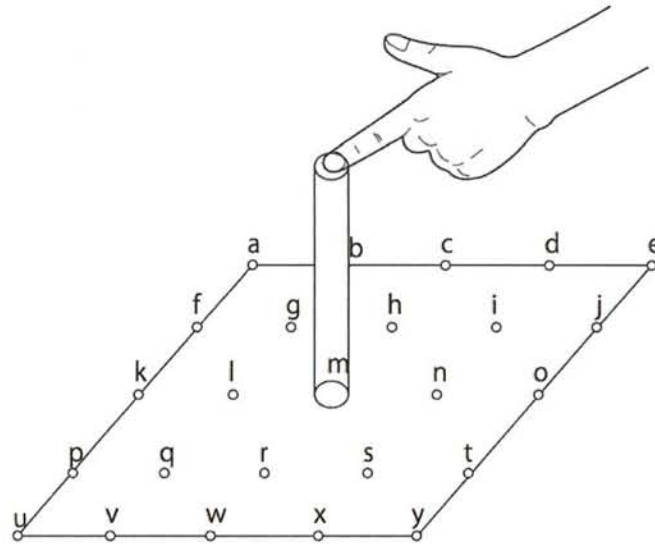


図 20 洗濯実験手法

#### 4.2.3 実験結果と考察

図 20, 図 21 は 5 ターン分の各点における XY 座標の A/D 変換値を線グラフでまとめたものである. 各点のグラフが重なりが近ければ, その点における A/D 変換値には洗濯による影響はないと考えられる. しかし, 図 20, 21 に示された通り, ほぼ全ての点において実験毎時, XY 座標の A/D 変換値に若干の差異がある. 差異が 0 である点は a から e の Y 座標, h の X 座標のみであった. また, X 座標の A/D 変換値に比べ, Y 座標の A/D 変換値の方が差異が目立つ結果となった. 特に布型タッチパネルの左下に配置された点 u においては X 座標 2.34, Y 座標 3.0 の差異が検出される結果となった. このような結果になった要因として洗濯による, 縫い付け部のほつれが考えられる. 洗濯後に左側の縫い付け部がほつれ, 洗濯前に比べて, 階層構造の布型タッチパネルの構成に変化があった. これが上下導電布の接触部のズレを従来以上に引き起こしたのではないかと考えられる.

しかしながら, 全体的に見て, 各点の XY 座標の A/D 変換値の差異は微小であり, キャリブレーション次第で対処可能な範囲であると考ええる. また洗濯による導電布の劣化等は見られなかった. 今後は洗濯に耐えうる裁縫手法を検討し, 布型タッチパネル自体の強度, ズレが起こらない構造にしていけることで十分に洗濯には対応することができるだろう.

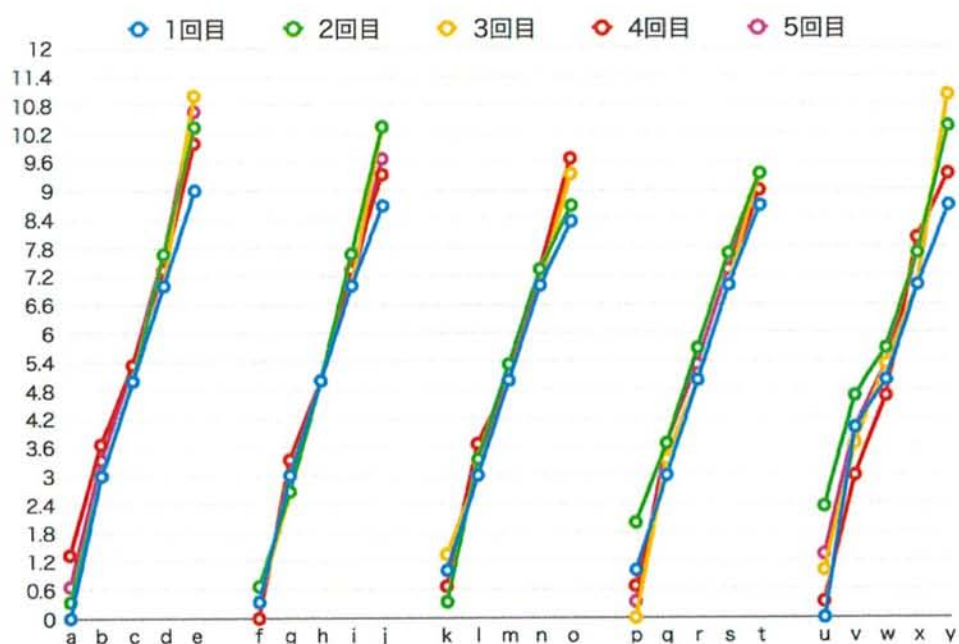


図 21 洗濯実験による各点 A/D 変換値 (0-1023) の変化 (X 値)

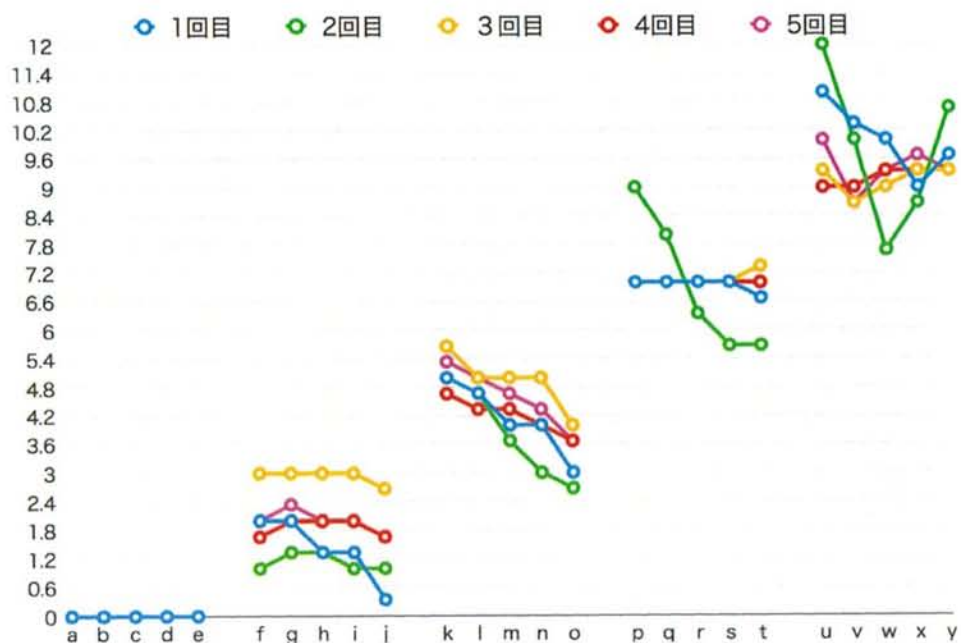


図 22 洗濯実験による各点 A/D 変換値 (0-1023) の変化 (Y 値)

## 5 アプリケーション

### 5.1 TEXTILE++ の応用

衣服を中心に, 本研究で提案する布型タッチパネル TEXTILE++ を応用したプロトタイプ作品を複数制作した. 制作した作品は MA-1 ジャケット (袖口 UI), トートバック, パンツ (pajamaUI) とした. これらは冒頭で重要要件であるファッション性, 携帯性, 装着性を十分に考慮し, 初見では, コンピューティングが含まれているように感じない設計を行った. また, 各プロトタイプ作品ごとに専用の ios アプリケーションを制作した. 専用アプリケーションと各デバイスは BLE による無線通信によってデータの送信を行い, アプリケーション内にて座標, 圧力データの可視化や, データを用いたインタラクションを行う.

**MA-1 ジャケット (袖口 UI)** 袖口をインタフェースとしたジャケットである. タップやスワイプといったインタラクションを認識し, 音楽アプリケーションの音源の再生停止や音量の調節等を行うことを想定している. 左袖口部に縦 50mm × 横 150mm の布型タッチパネルが組み込まれている. 左袖のシガレットポケット内部に制御基盤を格納し, 布型タッチパネルと制御基盤は衣服内部でケーブルで接続する. MA-1 ジャケットでは, 袖口の縦が短いため, Y 座標の A/D 変換値の変化がほとんど見ら



図 23 MA-1 ジャケット

れなかったため,X座標と圧力によるインタラクションのみとした。(図22)

**トートバック** 幼児向けのトートバックにプリントされた鍵盤部分を押下することで、ピアノのように音を奏でるトートバックである。トートバックの鍵盤のプリントが施された部に縦80mm×横135mmのTEXTILE++が組み込んであり、鍵盤を指で押下することで、iosアプリケーションから音が鳴り、演奏することができる。このような幼児向けのカバン等で様々なインタラクションが可能となることで、知育教育面での活用が期待があると考えられる。また、繊維素材は柔軟性があり、機械的なデバイスに比べ、安全性が高いと考えられる。(図23)

**パンツ (pajamaUI)** パジャマとして家内の使用を想定したパンツである。右太もも部に縦120mm×横120mmの布型タッチパネルが組み込んであり、ウエスト部に格納されたデバイスと衣服内部にてケーブル接続されている。パンツ (pajamaUI) では指でなぞった数字(0-9)の文字認識を行う。また、タップやスワイプ等ジェスチャ認識も可能である。専用アプリケーション内で再生する映像コンテンツを数字に応じて変更することができる。将来的に、IoT技術が発展し、家内のテレビや照明、その他家具家電との通信が一般的となった際のスマートフォンに代わるインタフェースを想定としている。(図23)

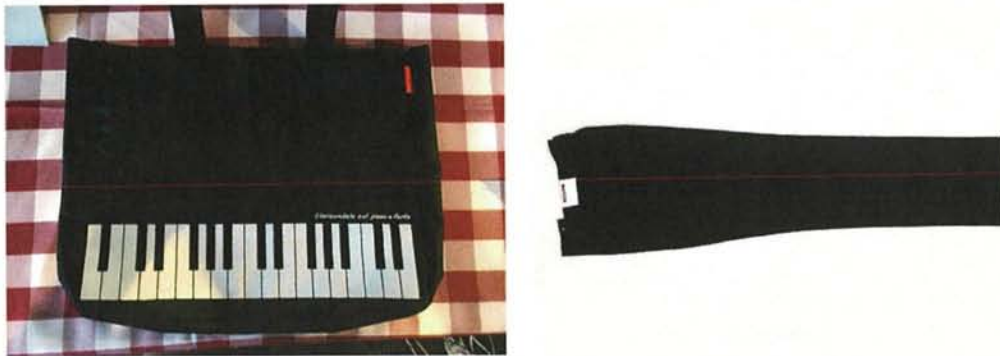


図24 左: トートバック / 右: パンツ (pajamaUI)



## 5.2 ソフトウェア

TEXTILE++ によって検出される座標データ, 圧力データを可視化するアプリケーションの制作には Openframeworks(Ver.0.9.8)[22] を用いた. アプリケーション上左部には, デバイスから送信された X 座標 Y 座標と対応した波形情報とカーソル情報が表示される. 真ん中には, 圧力データと対応したメータと圧力数値を示す. アプリケーション右部は座標データ, 圧力データから計算された情報を元にタップや上下左右のスワイプのジェスチャ認識結果, 0-9 の数値認識結果を表示される. 数値認識, ジェスチャ認識の出力モード切り替えはアプリケーション左下に表示されている GUI によって切り替え可能である.(図 24)

上記アプリケーションは, 布型タッチパネル TEXTILE++ 単体を接続した場合に用いるアプリケーションである. 制作したジャケットやパンツ, トートバックはこのアプリケーションを元に作品ごとに表示 UI デザインを変更して用いている.



図 25 アプリケーション画面

## 6 展示活動を通して

TEXTILE++ 及び TEXTILE++ を用いたプロトタイプ作品各種は 2017 年 7 月 29-8 月 3 日, ロサンゼルスコンベンションセンタで行われた ACM SIGGRAPH2017 studio[23], 2017 年 10 月 4 日首都大学東京日野キャンパス内で行われたシステムデザインフォーラム 2017[24], 2017 年 12 月 16 日秋葉原コンベンションセンタにて行われた GUGEN2017[25] にてデモ展示を行った. 展示活動を通して行われた議論や著者らが重要要件とした項目について, ユーザから得られた反応について論ずる.

### 6.1 SIGGRAPH2017 Studio

ACM SIGGRAPH2017 とは, CG やインタラクティブテクニクに関する世界で最も権威ある国際会議である. 世界中の大学研究者や企業の研究者が多く参加している. 本研究 TEXTILE++ は主にインタラクティブテクニクに関する Studio と呼ばれるセッションにて 5 日間のデモ展示, Experience Presentation の E-textile セッションにて口頭発表を行なった. ジャケット (袖口 UI), パンツ (パジャマ UI), 鍵盤型トートバック, 布型タッチパネル単体をデモ展示作品とした.(図 25) 各展示物は Ipad の専用アプリケーションと接続され, データの可視化を行なっている. デモ展示は 1 日 8 時間であったが会期中大きな不具合は見られず安定して動作していた. また, 展示 1 日目に口頭発表を行なったため, 2 日目以降は E-textile に興味のあるファッションデザイナーやスポーツブランド関係の企業の方が多くブースを訪れた. これらファッションの専門知識のあるユーザの多くは, 本研究を体験する中で, 機械感を感じないといった意見を多く頂くことができた. これらから本研究の重要要件としていたファッション性や装着性などを考慮した設計は有用性が高いことを示すことができたと考えられる. 一方で, これらユーザからは布型タッチパネルとデバイスの配線も繊維素材にした方が良いという意見を多く受けた.

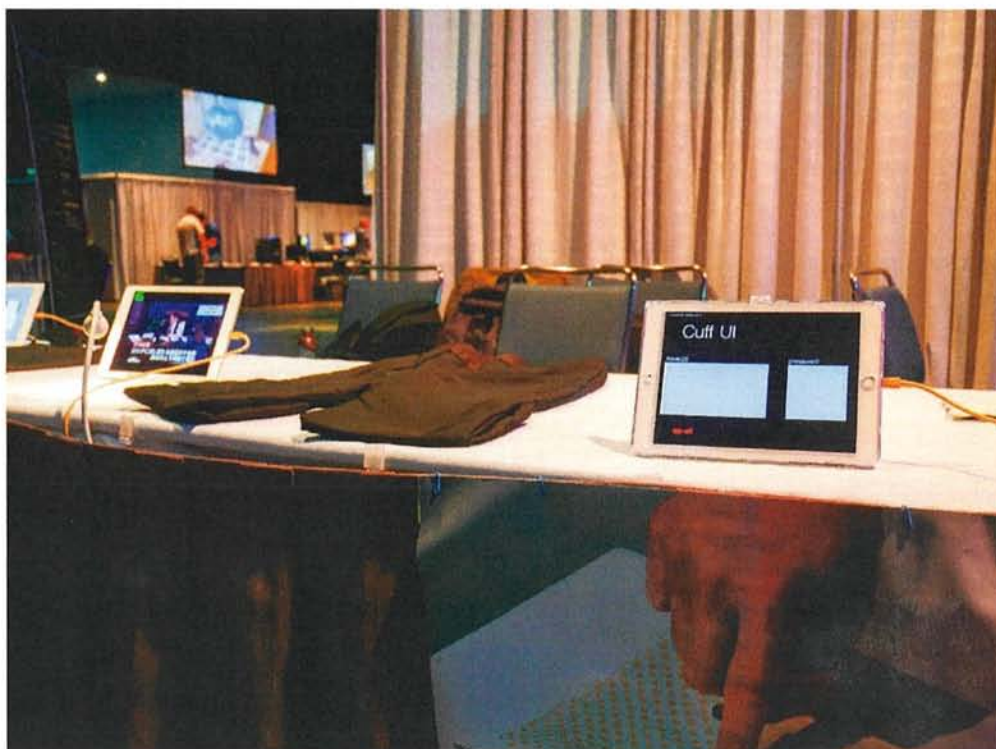


図 26 SIGGRAPH 展示の様子



## 6.2 SD フォーラム / GUGEN2017

前者 SD フォーラムはシステムデザイン研究科に属する研究室の成果発表の場である。発表形式はポスターデモ発表であり、企業はもちろん、他学域の学生が多く参加しているのが特徴である。MA-1 ジャケット及び、布型タッチパネル単体として、展示を行なった。(図 26) 工学系、情報系の学生が多く参加していたことから、技術的な議論を活発に行うことができた。特に前述した課題である布型タッチパネルとデバイスとの接続手法に関して、グンゼが開発したニット配線 [26] の知識を得ることができ、課題の糸口を見いだすことができた。

後者 GUGEN とは、商品化手前のハードウェア系プロトタイプ作品に関する国内最大級コンペティションである。実用性、商品性、革新性などの審査基準に沿って審査が行われる。ゆえに学会発表など新規性を問われる技術発表の場に比べ、ビジネスとしてアウトプットされているか、近い未来に実用化することができるアイデアであるか等について議論を活発に行うことができた。GUGEN においては、MA-1 ジャケットやトートバックなどの応用例での展示はせずに布型タッチパネル単体を展示物とし、幅広い応用に利用することができるといったプレゼン手法とした。(図 26) その結果、利用したユーザからは、スリッパの中敷に使い、足によるインタフェースの提案や衣服の背中部をタッチパネルし、他人に文字を書けてもらう古典的な遊びをデジタルに反映と面白いのではないかといった多種多様な具代的意見を多くいただいた。さらにコンペティションとして、小型デバイスの作り込み、テキスタイルインタフェースの将来性を評価され、優秀賞を受賞した。



図 27 左：SD フォーラム / 右：GUGEN 展示の様子

### 6.3 ユーザの反応

各展示において共通しているユーザの行動として、以下の二点が特に目立った。

#### マルチタッチを行う動作

##### 指の引っかかり

前者、マルチタッチに関しては現状のシステムでは対応しておらず、シングルタッチのみである。スマートフォンの普及から、多くのユーザはタッチインタフェースに慣れており、マルチタッチが標準であることの結果であると言える。抵抗膜方式の原理を用い、マルチタッチを行う手法は古くから提案させている。[29] 今後は、これらの技術を実装し、マルチタッチに対応させていきたいと考えている。後者、指の引っかかりに関しては、布が階層構造であるからだと考えられる。現状は複数の布を重ね合わせ外縁を縫い合わせているだけであるので、内部は布の固定がされていない。ゆえに布表面を指で滑らす時に、階層上部の布と内部の布でズレが生じるため、ある程度操作に慣れていないと指が引っかかってしまう。今後は、布型タッチパネルの縫い付け手法を再検討していく必要がある。

## 7 オープンソース化

本研究では, 提案する TEXTILE++ は主に衣服型のウェアラブルコンピューティングへの応用を前提に進めている. しかし, 布をタッチパネルとして活用できることから, 非常に汎用性があるといえる. ゆえに, クッションやカーテン, ソファといった身の回りの繊維素材で構成された製品へ応用し, 生活に溶け込んだユーザインタフェースへの可能性が無限大にあるといえる. これら幅広い可能性を秘めた TEXTILE++ の技術をより多くの技術者やデザイナーへ広めることで, テキスタイルインタフェースをはじめ, マテリアル素材をインタフェース化する分野の発展に貢献することができるのではないかと考えた. 本章では, オープンソース化するにあたり, 行った活動と, それらから得られた反響について論ずる.

### 7.1 DIY 動画

提案する TEXTILE++ は導電布をはじめ, 容易に入手可能な素材を用いて制作することができる. また, 構成もシンプルのため誰でも制作工程さえ理解すれば, 制作することが可能である. これらから, TEXTILE++ の制作手法を 3 分程度にまとめた DIY 動画の制作公開を行った.(図 27)DIY 動画では, TEXTILE++ の制作工程から Arduino との配線など分かりやすく説明している. 字幕は英語とし, 日本のみならず, 海外の方々でも理解できるよう心がけた. DIY 動画は Youtube, Facebook にて公開を行った. 特に Facebook では, 公開一週間で約 5000 再生 (2017/7 時点), 中国, 台湾方面を中心にシェア 55 件を記録した. また, 某大手海外自動車メーカーのデザインチームから, DIY 動画を元に制作してみたとの連絡をいただき, DIY 動画の有用性を示すことができたと考えられる.

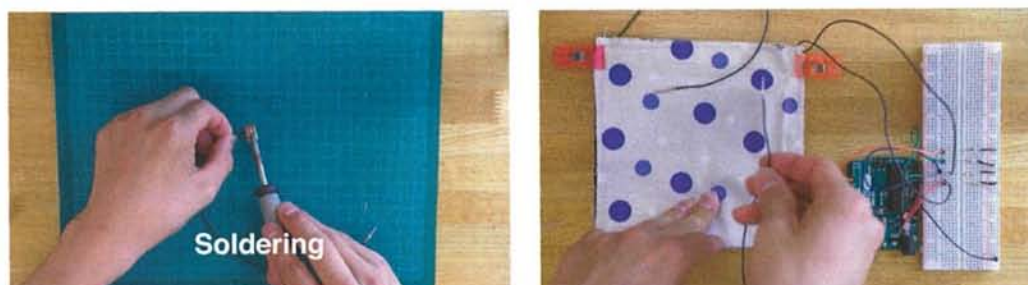


図 28 DIY 動画



## 7.2 Web サイト

本研究 TEXTILE++ に関する内容をまとめた Web サイトの制作公開を行った。Web サイトでは、過去に学会発表した WISS2016[27], 第三回 ADADAjapan 学術大会 [28] の論文や研究内容を 3 分程度にまとめた解説動画, 前述した DIY 動画, Arduino, Openframeworks のプログラムコードを掲載した。(図 28)Web サイトも DIY 動画同様, 全て英語での表記をし, 世界的に発信した。Web サイトは今後も随時アップデートを行なっていきたいと考えている。

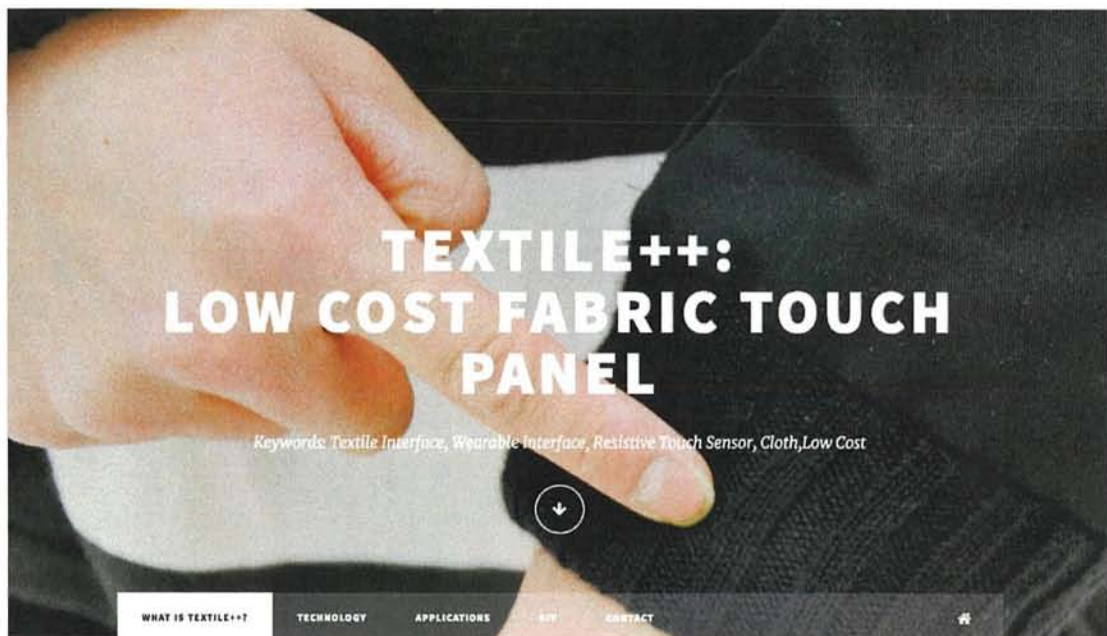


図 29 Web サイト



## 8 まとめ

本研究では、タッチパネル原理の4線抵抗膜方式を繊維素材に応用し、柔軟性のある繊維素材のみで構成された布型タッチパネルを提案した。提案システムを制作し、衣服型ウェアラブルコンピューティングを始め、様々な製品への応用を行なった。展示を通して、ユーザからは機械的なデバイスが入っているように見えない、との意見を多く頂いた。提案する布型タッチパネルがウェアラブルコンピューティングに応用した際のファッション性や装着性において、十分に有用性を示すことができたと考える。また、既存のタッチパネルと比較し、解像度の問題で複雑な操作は困難であるが、入力インタフェースとしての実用性や有用性についても可能性があることを確認することができた。評価実験では、メッシュ生地の開口率、洗濯による布型タッチパネルへの影響に関する評価実験を行った。結果、メッシュ生地の開口率は20%以降であれば高い認識精度を誇ることがわかった。一般に流通しているメッシュ生地は20%前後であるため、既存のメッシュ生地を流用することができる。洗濯に関する実験ではほぼ全ての点のXY座標のA/D変換値が、洗濯前と洗濯後で差異を生じたが、ごく微小であり、キャリブレーションで十分に対処可能であった。今後実装が必要な項目として、マルチタッチの対応、操作性の向上、布型タッチパネルとデバイスへの接続方法の再検討、布型タッチパネルの耐久度の向上が挙げられる。現状、4線抵抗膜方式の検出原理ではシングルタッチしかできないが、ソフトウェアの工夫[29]により、今後はマルチタッチに対応させていきたい。接続方法は、現状導電性テープとケーブルを用いているが、導電糸に置き換えた接続方法や、布自体に配線を印刷する[30]といった方法やニット配線[26]を検討していきたい。また、開口率、洗濯の評価実験から、布型タッチパネルの形成する階層構造を再検討し、日用品で用いられる程度の精度と耐久性の向上を目指していく。

## 9 謝辞

本論文は著者が首都大学東京大学院システムデザイン研究科インダストリアルアート学域博士前期課程において、インタフェースデザインスタジオでの研究成果をまとめたものである。同専攻馬場哲晃准教授には指導教官として日頃の研究指導や国内外の学会発表等数々の頼りあるご指導とお力添えを頂きました。知識が乏しく時術面でなんども行き詰まる私に根気強くご指導してくださり、心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。並びに同専攻笠原信一教授、串山久美子教授、楠見清准教授には、副査として発表毎にご助言と論文の細部に至るまで、ご指導頂き、本論文をより良いものにすることができました。本当にありがとうございました。

現産総研所属である、Paul Haimes 氏には、英語論文を執筆する際にたくさんのご指導、映像のナレーションをして頂いたことで、SIGGRAPH に採択されることができました。心から感謝します。また、同研究室の荻江諒氏には、ハードウェアの小型化に協力して頂き、研究としての質が向上しました。本当にありがとうございました。そして、実験参加者として協力して下さった同研究室の皆様、他研究室の皆様、本当にありがとうございました。最後になりますが、二年間という短い期間でこれだけの経験、実績を積むことができたのは、馬場哲晃准教授を筆頭に協力していただいた皆様のおかげです。この環境で研究を勧められたことを光栄に思うと同時に幸せに思います。ありがとうございました。

## 10 参考文献

- [1] Apple Watch, <https://www.apple.com/jp/watch/> (2017.10.13).
- [2] Smart Watch3, <http://www.sonymobile.co.jp/product/smartproducts/swr50/> (2017.10.13).
- [3] Maggie Orth, J. R. Smith, E. R. Post, J. A. Strickon, and E. B. Cooper. 1998. Musical jacket. In ACM SIGGRAPH 98 Electronic art and animation catalog (SIGGRAPH '98). ACM, New York, NY, USA, 38-. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/281388.281456>
- [4] SmartEyeglass Developer Edition, <https://developer.sonymobile.com/ja/smarteyeglass/> (2017.10.13).
- [5] 富士通が指先で文字入力な指輪型ウェアラブルデバイス 情報化研究 0386-0566 イフ・アドバタイジング 2015-02 397 14-16 <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020346499/> (2007.04.05).
- [6] 菊川 裕也, 馬場 哲晃, 串山 久美子 LuminouStep 踏み込みを可聴化するシステムの研究と開発 エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2014 論文集 2014-09-12 2014 93-95 <http://ci.nii.ac.jp/naid/170000084899/>
- [7] 菅谷 諭, 的場 やすし, 喜納 ロビン 政志 ユニバーサルデザインを考慮した靴型楽器 (オトクツ) の開発とその介護予防への応用 ものづくり大学紀要 2185-3746 ものづくり大学 2011 2 11-14 <http://ci.nii.ac.jp/naid/40019505592/>
- [8] Orphe, <http://orphe.shoes/> (2017.10.13).
- [9] グンゼ, <http://www.gunze.co.jp/> (2017.10.13).
- [10] 岡野 祐一, 宮原 景泰 タッチパネルの最新技術動向 映像情報メディア学会誌: 映像情報メディア = The journal of the Institute of Image Information and Television Engineers 13426907 一般社団法人映像情報メディア学会 2009-08-01 63 8 1101-1106 <http://ci.nii.ac.jp/naid/110009669537/10.3169/itej.63.1101>
- [11] Kentaro Ueda, Tsutomu Terada, and Masahiko Tsukamoto. 2016. Input interface using wrinkles on clothes. In Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC '16). ACM, New York, NY, USA,



56-57.

- [12] Ivan Poupyrev, Nan-Wei Gong, Shiho Fukuhara, Mustafa Emre Karagozler, Carsten Schwesig, and Karen E. Robinson. 2016. Project Jacquard: Interactive Digital Textiles at Scale. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, 4216-4227. t
- [13] Bieling Tom, Martins Tiago, Zohrap Inci-Ana, Clemens Andrea, Werfel Fabian, sposito Chiara E, and Joost Prof. Dr. Gesche. Capacitive Textile Touch Pad. <http://www.design-research-lab.org/projects/speechless> (2017.10.13).
- [14] Yuta Sugiura, Masahiko Inami, and Takeo Igarashi. 2012. A thin stretchable interface for tangential force measurement. In Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '12). ACM, New York, NY, USA, 529-536. DOI: <https://doi.org/10.1145/2380116.2380182>
- [15] 筧 豪太, 杉浦 裕太, 杉本 麻樹, 稲見 昌彦 綿を内包した柔軟物を用いた日用品に溶け込むインタフェース, WISS 2010, pp.89-94.
- [16] 中垣拳, 筧康明: Needle User Interface (NUI):導電布を用いた縫うインタフェースの提案, インタラクション 2012, 2012.
- [17] 導電布 (リップストップナイロン), <https://www.switch-science.com/catalog/462/> (2018/01/18).
- [18] 導電布 (平織), <https://www.switch-science.com/catalog/403/> (2018/01/18).
- [19] 導電布 (綾織), <https://www.switch-science.com/catalog/426/> (2018/01/18).
- [20] 三角形, 多角形による包含判定, <http://www5d.biglobe.ne.jp/~tomoya03/shtml/algorithm/Hougan.htm> (2017.10.13).
- [21] Arduino, <http://www.arduino.cc> (2018.01.18).
- [22] Openframeworks, <http://openframeworks.cc> (2018/01/18).
- [23] Keisuke Ono, Shinichiro Iwamura, Akira Ogie, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. 2017. Textile++: low cost textile interface using the principle of resistive touch sensing. In ACM SIGGRAPH 2017 Studio (SIGGRAPH '17). ACM, New York, NY, USA, Article 8, 2 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3084863.3084868>
- [24] System Design Form, <http://www.seeds.sd.tmu.ac.jp/index/2017/> (2018.01.18).



- [25] GUGEN2017, <https://gugen.jp/> (2018.01.18).
- [26] GUNZE ニット配線, <https://akiba-pc.watch.impress.co.jp/docs/news/news/1071965.html> (2018.01.18).
- [27] 小野 圭介, 馬場 哲晃 綿抵抗被膜方式を用いたテキスタイルインタフェース, WISS 2016
- [28] 小野 圭介, 岩村 慎一郎, 馬場 哲晃 Textile++:抵抗膜方式を用いたテキスタイルインタフェース
- [29] 松下 伸行, 綾塚 祐二, 暦本 純一: “Dual Touch:ペン型 PDA のための二本指インタフェース”, 情報処理学会インタラクション 2000 論文集, pp.171-172 (2000)
- [30] Matsuhisa, N. et al. Printable elastic conductors with a high conductivity for electronic textile applications. Nature Commun. 6, 7461 (2015).

## 付録 A 学外発表/受賞歴/メディア掲載

### A.1 学外発表

#### < 国際会議 (査読あり)>

Keisuke Ono, Shinichiro Iwamura, Akira Ogie, Tetsuaki Baba, and Paul Haimes. 2017. Textile++: low cost textile interface using the principle of resistive touch sensing. In ACM SIGGRAPH 2017 Studio (SIGGRAPH '17). ACM, New York, NY, USA, Article 8, 2 pages. DOI: <https://doi.org/10.1145/3084863.3084868>

#### < 国内会議 (査読あり)>

小野 圭介, 岩村 慎一郎, 馬場 哲晃 Textile++:抵抗膜方式を用いたテキスタイルインタフェース, 第三回 ADADA Japan 学術大会

#### < 国内会議 (査読なし)>

小野 圭介, 馬場 哲晃 綿抵抗被膜方式を用いたテキスタイルインタフェース, WISS 2016

### A.2 受賞歴

第三回 ADADA Japan 学術大会 研究奨励賞

GUGEN 2017 優秀賞

### A.3 メディア掲載

fabcross, [https://fabcross.jp/news/2017/20171218\\_gugen2017.html](https://fabcross.jp/news/2017/20171218_gugen2017.html) (2018/12/18).

IotNEWS, <https://iotnews.jp/archives/79974> (2018/12/18).